

МКЭ-ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛА ОХВАТА ОПРАВКИ МЕТАЛЛОМ ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ ПРОКАТКЕ

Бородин Е.М., Харитонов В.В., Бородин М.Ю.
Институт машиноведения УрО РАН,
УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург.

При непрерывной прокатке труб на длинной оправке, как свободной, так и удерживаемой, труба взаимодействует с оправкой не только в очаге деформации, но и между клетями. Наличие взаимодействия труб и оправки в межклетевом промежутке непрерывного стана экспериментально установлено В.Н. Данченко [1]. Им же дана оценка такого влияния на силы межклетевого натяжения.

Целью данной работы является численное исследование коэффициента охвата оправки трубой. Данный параметр используется в расчетных методиках типа [2] для определения силовых параметров прокатки. Основным инструментом математического моделирования в данной работе является метод конечных элементов, реализованный в пакете прикладных программ DEFORM-3D.

Для определения площади контактной поверхности трубы и оправки Я.Л. Ваткиным и В.Н. Данченко была предложена следующая формула:

$$F_m = k\pi r_o L, \quad (1)$$

где r_o - радиус оправки; L - протяженность межклетевого промежутка; k - коэффициент оковывания оправки металлом, характеризующий степень контакта трубы с оправкой:

$$k = \alpha / \pi;$$

здесь α - угол охвата оправки металлом со стороны одного вала.

Формула (1) выведена в предположении, что поверхность контакта трубы и оправки имеет прямолинейные края, т.е., угол охвата α имеет постоянную величину на всем протяжении межклетевого промежутка. Очевидно, между тем, что данное предположение не будет выполняться при наличии подпоров и натяжений. Между тем, площадь поверхности контакта может быть получена непосредственно из расчета напряженного и деформированного состояний по методу конечных элементов. Это позволяет оценивать коэффициент оковывания

оправки металлом k по следующей формуле:

$$k = \frac{F_m(p)}{\pi r_o L}, \quad (3)$$

где $F_m(p)$ - площадь поверхности контакта трубы и оправки.

Расчет коэффициента k с помощью метода конечных элементов может существенно повысить точность расчета силовых параметров по существующим инженерным методикам. Далее приводится пример такого расчета.

Исследовалась прокатка в двух клетях непрерывного стана. Оси валков первой и второй клетки стана перпендикулярны друг другу. Диаметр бочки рабочих валков 400 мм. Наружный диаметр и толщина стенки гильзы 120 и 10 мм. Калибровка первой клетки – овальная с выпуском по радиусу и эксцентриситетом 5 мм. Калибровка второй клетки – круглая с выпуском по радиусу. Высота калибра в первой клетке 98 мм, во второй – 97 мм; угол выпуска в обеих клетях 0.715 рад. Радиус выпуска в первой клетке 283.8 мм, во второй – 171.2 мм. Межвалковые зазоры в первой клетке 6 мм, во второй – 4 мм. Диаметр оправки 85 мм. Свойства материала трубы соответствовали стали марки AISI-1016 (отечественный аналог – сталь 15Г) при температуре прокатки 1150 °С.

Приняты допущения об изотропности материала, абсолютно жестком инструменте и изотермическом характере процесса деформации. Материал заготовки вязкопластический, условие несжимаемости материала учтено приближенно при помощи метода штрафов. Коэффициент трения μ (по Прандтлю - Зибелю) на поверхности контакта “валок - заготовка” равен 1, а по поверхности “заготовка - оправка” – 0.3.

Таблица 1

Угловая скорость вращения валков в первой клетке, рад/с	Коэффициент оковки оправки металлом	Средний угол оковки охвата металлом, град.
5.05	0.11374314	128.640455
5.15	0.11358904	128.46618
5.25	0.11322953	128.059587
5.35	0.11327123	128.106745
5.45	0.11276475	127.533931

Частоту вращения валков приняли переменной в первой клетке и постоянной (7.85 рад/с) во второй клетке. Межклетевое натяжение создавалось изменением скорости валков в первой клетке. Вы-

числительные эксперименты выполнялись для значений угловой скорости вращения валков первой клетки 5.05, 5.15, 5.25, 5.35, 5.45 рад/с. Основные результаты расчетов сведены в табл. 1.

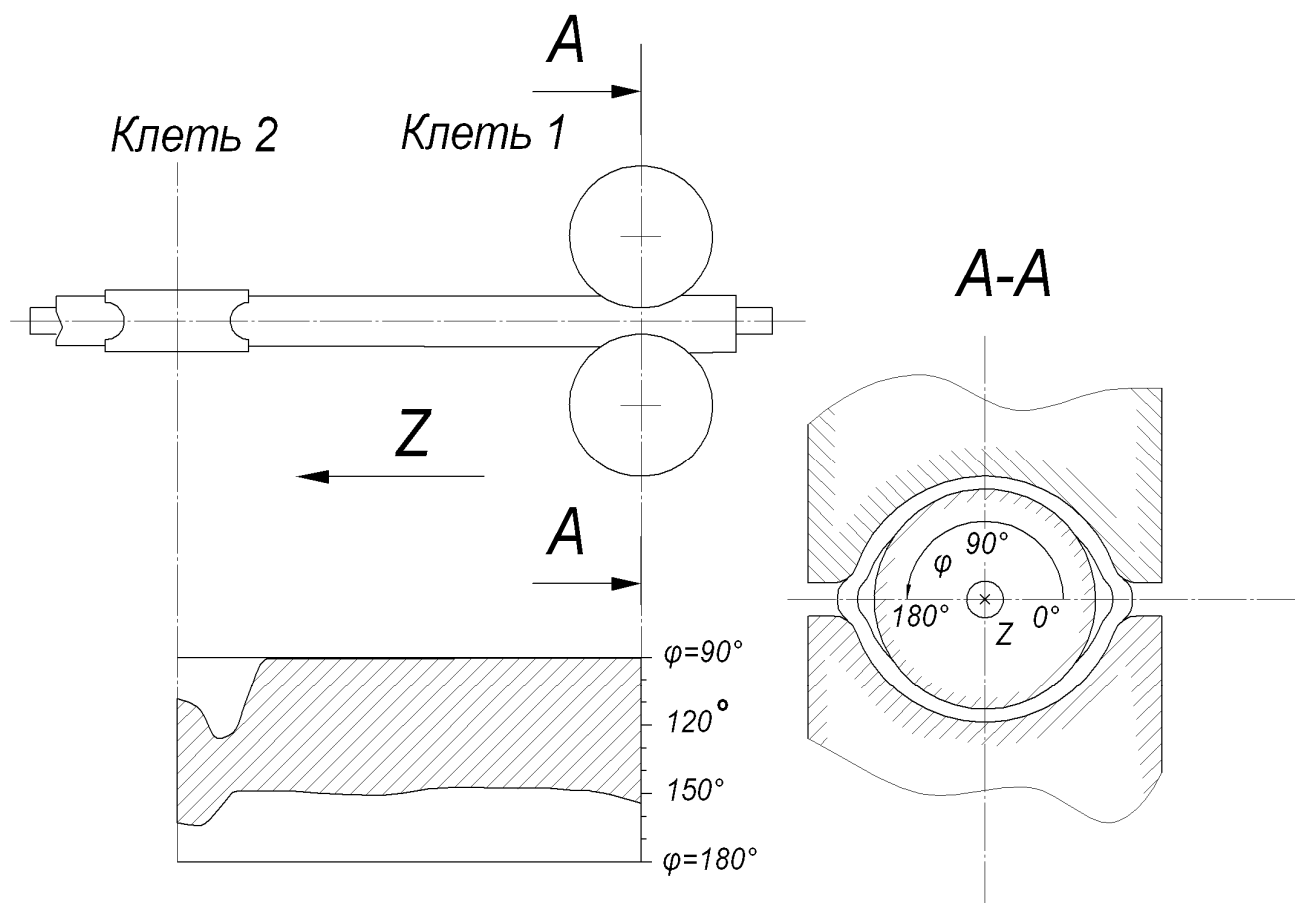


Рис. 1. Профиль поверхности контакта трубы и оправки

Расчеты показали, что при отклонении скорости первой клетки в пределах $-1.9 \dots 1.9$ об/мин не происходит значительного изменения коэффи-

циента охвата оправки металлом. При этом подпор изменяется в пределах $-10 \dots 10$ кН.

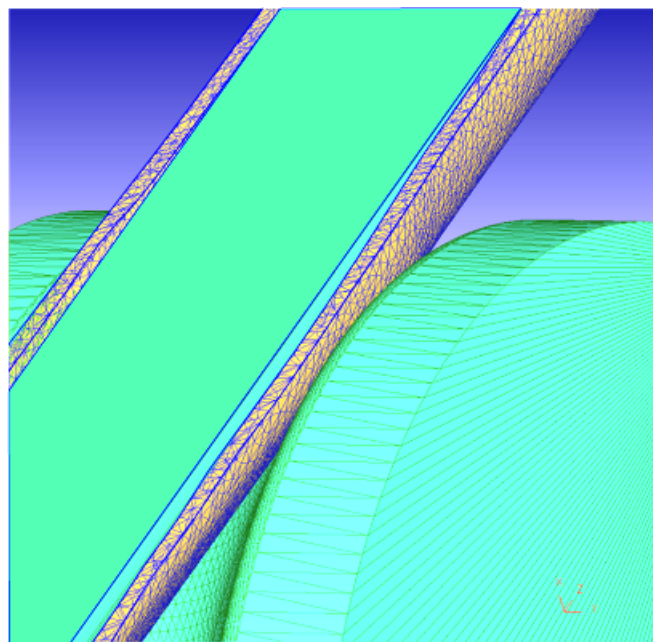


Рис. 2. Отставание трубы от оправки на входе в очаг деформации второй клетки

Это согласуется с данными [3], согласно которым натяжение не приводит к заметному изме-

нению коэффициента k , а прокатка с подпором *может* приводить к значительному оковыванию

оправки металлом. Таким образом, использование соотношения (3) совместно с конечно-элементным моделированием для оценки коэффициента оковки оправки металлом является обоснованным.

На рис. 1 приведена развертка четверть развертки поверхности контакта трубы и оправки. Характерно, что угол охвата трубы и оправки в межклетевом промежутке несколько больше, чем среднее значение угла охвата (в табл. 1).

Это объясняется отставанием трубы от оправки при входе во вторую клетку (рис. 2).

Рассмотренный в данной работе подход может быть в дальнейшем использован для более точного учета взаимодействия трубы и оправки в математических моделях процесса прокатки труб на оправке как объекта управления.

Управление натяжением проката представляет собой сложную задачу. Известно, что силы взаимодействия клетей через прокат нелинейно зависят от скорости оправки [4]. Необходима система управления, которая обеспечивала бы стабилизацию этих усилий на уровне небольшого регламентированного натяжения или подпора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Данченко В.Н.** Продольная прокатка труб / В.Н. Данченко, А.В. Чус М.: Металлургия, 1984. 136 с.
2. **Мижирицкий О.И., Харитонов В.В.** Технологические расчеты в процессах продольной прокатки труб. Учебное пособие. Изд. УПИ. Свердловск, 1991. 88 С.
3. **Чекмарев А.П., Друян В.М.** Теория трубного производства М.: Металлургия, 1976. 304 С.
4. **Е.М. Бородин, В.Л. Колмогоров, М.Ю. Бородин, В.В. Харитонов** Математическая модель непрерывной оправочной прокатки труб / Сталь. 2009. №10. С. 71-74